NOTICE

SUR

LES TITRES ET LES TRAVAUX

DE

M. J. CARPENTIER

INGÉNIEUR CONSTRUCTEUR

(Successeur de RUHMKORFF)

PARIS

A. LAHURE IMPRIMEUR-ÉDITEUR

9, RUE DE FLEURUS, 9

1895

TITRES ET EMPLOIS

Élève à l'École polytechnique, 1871-1873.
Ingénieur des Manufactures de l'État, 1873-1876.
Ingénieur à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, 1876-1878.
Successeur de Ruhmkorff, 1878.

RÉCOMPENSES

DISTINCTIONS ET FONCTIONS HONORIFIQUES

Médaille d'argent à l'Exposition universelle de Paris, 1878.
Médaille d'or à l'Exposition d'Électricité de Paris, 1881.
Chevalier de la Légion d'honneur, 1881.
Lauréat de la Société d'encouragement, 1882.
Chevalier de l'Ordre de François-Joseph d'Autriche, 1884.
Membre du Conseil de la Société d'encouragement, 1887.
Membre du Conseil de la Société de physique, 1887-1890.
Membre du Comité d'admission de la classe 62. }
Membre du Comité technique d'électricité. } Paris 1889.
Membre du Comité d'organisation des Congrès. }
Deux grands prix et médaille d'or à l'Exposition universelle, Paris 1889.
Président du Syndicat professionnel des Industries électriques, 1890-1892.
Président de la Société Internationale des Électriciens, 1892.
Officier de la Légion d'honneur, 1894.
Membre du Comité de la Société des Ingénieurs civils, 1895.

AVANT-PROPOS

A la fin de l'année 1877, M. J. Carpentier était ingénieur à la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, où deux ans auparavant, quittant le service des Manufactures de l'État, il avait débuté comme simple ouvrier ajusteur aux ateliers de Paris. Après dix mois de ce stage, il avait été nommé adjoint à l'ingénieur principal du matériel et comptait faire sa carrière dans cette voie où l'avait attiré son goût très spécial pour la construction mécanique.

C'est à cette époque que se produisit la mort de Ruhmkorff. Quelques semaines après, M. J. Carpentier apprit par hasard que la succession du célèbre constructeur allait être vendue aux enchères dans une étude de notaire. Poussé alors par le sentiment de sa véritable vocation, malgré la brièveté du délai laissé à sa réflexion, M. J. Carpentier prit brusquement le parti de se porter acquéreur.

L'adjudication ne lui fut pas disputée, et M. J. Carpentier obtint, pour une somme dérisoire, tout ce que Ruhmkorff laissait après lui. Les ateliers du vieil artiste avaient été à deux doigts d'un effondrement complet : à son successeur incombait la tâche et l'honneur de les relever.

L'Académie a entendu jadis son illustre secrétaire perpétuel, M. J.-B. Dumas, faire l'éloge de Ruhmkorff, et elle n'a certainement pas oublié la physionomie de cet habile et laborieux praticien. Après l'avoir puissamment encouragé en lui décernant cinq années de suite le prix Trémont, c'est l'Académie qui l'a désigné en 1864 pour recevoir le grand prix Volta, en retour de tous les services qu'il avait rendus à la science. Ruhmkorff, par la réalisation de sa puissante bobine d'induction, s'est acquis une

renommée universelle; mais c'est en fabriquant avec tant de soin, avec tant de goût, avec un sentiment si profond de son art le nombre considérable des beaux instruments dont ont fait usage tous les savants du monde entier, qu'il a véritablement fondé sa réputation de constructeur éminent. Toutefois ses plus beaux titres à la reconnaissance des hommes de science résident certainement dans la parfaite libéralité avec laquelle il n'a cessé de mettre à leur disposition, pour leurs recherches originales, les conseils de sa longue expérience et les ressources exceptionnelles réunies dans ses ateliers. Malgré le chiffre considérable des affaires qu'il a réalisées, malgré les récompenses pécuniaires importantes qu'il a reçues, Ruhmkorff, qui avait toujours vécu d'une vie des plus modestes, est mort très pauvre, et il appartient bien à son successeur, auquel il a été donné de connaître sa situation mieux assurément qu'il ne l'a jamais connue lui-même, de rendre un dernier hommage à son grand désintéressement.

Au moment où Ruhmkorff disparut, la science électrique était à la veille de la transformation considérable qu'elle a subie dans l'espace des quinze dernières années. Avec l'apparition de la machine Gramme, l'électricité se répandait en nombreuses applications dans toutes les branches de l'industrie, et il devenait indispensable de soumettre à des calculs rigoureux toutes les conditions de son emploi. Les grandeurs électriques prenaient une existence réelle et leur mesure exacte s'imposait comme la base nécessaire de toutes les combinaisons où elles auraient à intervenir. Le monde savant prenait la tête du progrès et se préoccupait de définir les unités, éléments fondamentaux de toute évaluation, ainsi que de fixer leurs valeurs. L'industrie entière réclamait des étalons et des instruments pratiques pour effectuer les mesures. Parmi les modèles si nombreux que Ruhmkorff avait créés pour l'étude de la nature même des phénomènes, appareils devenus classiques pour la plupart, aucun ne répondait aux nouveaux besoins, et on peut même dire qu'en France il eût été impossible alors de se procurer aucun des instruments nécessaires à la constitution du nouvel outillage des électriciens.

L'Angleterre au contraire était déjà toute préparée pour fournir les pièces principales de cet outillage. Les applications qu'elle avait faites de l'élec-

tricité à la transmission télégraphique sous-marine, l'avaient mise dans la nécessité de se créer tout un arsenal d'instruments propres à la mesure des résistances et des capacités électriques. D'importantes maisons s'étaient fondées pour la fabrication de ce matériel de précision et des savants illustres, en tête desquels il convient de nommer Sir William Thomson, s'étaient chargés de les inspirer et de leur indiquer les principes de construction des galvanomètres et des électromètres de haute sensibilité, des étalons et de tous les accessoires des installations de mesure. Ces maisons, les White de Glasgow, les Elliott, les Latimer Clark et les Siemens de Londres, avaient acquis dans cette spécialité une habileté tout à fait remarquable; elles avaient réuni et formé un personnel expérimenté, s'étaient constitué des méthodes et un outillage spécial et avaient en un mot pris une position défiant presque absolument la concurrence. Dans ces conditions la France était encore, à l'issue de l'Exposition de 1878, tributaire de l'Angleterre, et notre industrie nationale était incapable de rien produire dans cette branche d'où dépendait la vitalité de toutes les autres.

Continuer l'œuvre de Ruhmkorff qui, durant toute sa vie, s'était tenu à l'affût du progrès, c'était s'appliquer à combler une si grave lacune; c'était, par une brusque conversion, abandonner les modèles anciens pour en créer de nouveaux, et ne conserver des traditions qu'il laissait que la conscience et le soin avec lesquels il n'avait cessé de travailler.

A l'époque où les ateliers Ruhmkorff passèrent aux mains de son successeur, la transformation qu'ils subirent ne se borna point au changement de leur production. Elle s'étendit aux méthodes de travail et aux moyens employés dans la fabrication.

La méthode de travail exclusivement pratiquée jadis dans l'industrie des instruments de précision, consistait à confier à un même ouvrier la construction complète d'un instrument entier, en lui fournissant soit un modèle à imiter, soit même de simples indications à suivre. L'organisation nouvelle introduite dans les ateliers Ruhmkorff a imposé aux ouvriers d'exécuter les pièces, conformément à des dessins soigneusement tracés et cotés, avec l'exactitude la plus rigoureuse.

Les pièces détachées sont ainsi façonnées, pour ainsi dire, géométri-

quement, et sans préoccupation de la fonction qui leur est réservée; chacune d'elles passe par autant de mains que le comporte sa forme, de telle sorte que toute surface de révolution soit l'œuvre d'un tourneur, toute surface plane celle d'un fraiseur, etc. Les diverses pièces d'un appareil, fabriquées à part, ne se rejoignent que sur l'établi du monteur; celui-ci, en possession du dessin d'ensemble, n'a d'autre besogne que d'assembler les organes épars et à assurer le jeu normal de leur combinaison; il n'a point à connaître la destination de l'appareil qu'il édifie et doit veiller seulement à ce que les mouvements prévus se produisent sans gêne comme sans jeu inutile. C'est ainsi que, dans un atelier où se construisent principalement des appareils électriques, plus de soixante ouvriers exécutent des instruments irréprochables sans qu'aucun d'eux soit électricien. La vérification électrique, toujours nécessaire, est confiée à d'autres agents spéciaux, incapables pour leur part de rien façonner.

Cette méthode de travail, dont viennent d'être indiquées les grandes lignes, et qui repose sur la division de la main-d'œuvre et la perfection des façons élémentaires, avait été inaugurée dans les branches de l'industrie mécanique qui comportent la production d'un grand nombre de pièces semblables et dont la fabrication des armes de guerre peut être regardée comme le type. Cette méthode s'imposait en pareil cas. Mais l'expérience montre que, même pour la construction d'un instrument isolé, c'est encore elle qui conduit à la plus grande perfection dans les résultats. Dès qu'il s'agit de répéter à plusieurs exemplaires un même appareil, elle devient particulièrement économique. C'est alors qu'intervient, comme sanction d'une construction parfaite, le grand principe de l'interchangeabilité des pièces, dont la fécondité se fait sentir, non seulement par la simplification qu'il introduit dans les assemblages, mais encore et surtout par la rigueur qu'il impose dans l'exactitude des formes, deux pièces ne pouvant se remplacer identiquement dans un assemblage que si l'une et l'autre sont individuellement correctes.

En ce qui concerne les moyens employés à la fabrication, les ateliers Ruhmkorff, transportés dans de nouveaux locaux vastes et bien aménagés, ont été dotés des outils les plus perfectionnés et les procédés méca-

niques y ont été développés dans la plus large mesure. L'emploi de la fraise y a été introduit et généralisé autant que possible. Enfin la caractéristique des machines qui s'y trouvent réunies et dont la fonction est toujours de fabriquer des pièces délicates, est d'être massives et robustes. Elles remplissent ainsi les conditions qui résultent de cette vérité primordiale que plus une pièce est petite, plus l'outil qui sert à la produire doit être rigide et indéformable; la tolérance relative en effet restant constante, la tolérance absolue diminue nécessairement avec les dimensions des pièces.

Les ateliers Ruhmkorff produisent principalement les instruments de mesures électriques; mais ils ont été amenés à s'occuper de toutes les questions intéressant la physique et la mécanique.

L'auteur s'excuse de la forme de sa notice qui ressemble à un catalogue; il se trouve, constructeur, dans la position d'un sculpteur, réduit à donner une idée de ses statues par des descriptions sommaires; il espère toutefois que son œuvre n'est déjà plus tout à fait inconnue de ceux qui liront ces lignes.

ÉLECTRICITÉ

PRINCIPAUX APPAREILS DE MESURE

MESURE DES POTENTIELS

Électromètre Thomson. — Modifié par M. Mascart.

Cet appareil qui représente le modèle français de l'électromètre Thomson, en contient tous les organes principaux, toutefois il diffère notablement du modèle anglais par les dispositifs de détail. Quoique d'une construction plus simple, il comporte la même sensibilité et la même exactitude. Il est peu encombrant et très portatif. Il est très employé dans les observations de l'électricité atmosphérique.

Électromètre apériodique. — Système J. C. (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, juin 1887).

L'armature mobile de cet appareil est formé par un cadre métallique (aluminium), rectangulaire, complètement fermé. Les armatures fixes sont des portions de deux cylindres concentriques. Un aimant en U embrassant tout le système a pour fonction de créer un champ magnétique, dont les lignes de force sont coupées par le cadre mobile et produisent ainsi l'apériodicité complète du système.

Cet électromètre se réalise sous deux formes : dans la première la rotation du cadre mobile a lieu autour d'un axe vertical, par l'intermédiaire d'un fil de torsion métallique, lequel établit la communication électrique et fournit la force antagoniste; la déviation s'observe à l'aide d'un petit miroir porté par le cadre mobile. Dans la deuxième forme, la rotation a

lieu autour d'un axe horizontal, le cadre est porté par deux pointes reposant l'une dans une cuvette, l'autre dans une rainure conique; un contrepoids fournit la force antagoniste. Les déviations se lisent au moyen d'une aiguille se déplaçant devant un cadran vertical gradué en volts.

Cet électromètre a été établi principalement en vue des applications industrielles. Son isolement est moyen; sa sensibilité varie suivant les modèles, de telle sorte que la déviation maximum corresponde à des différences de potentiel comprises entre 75 et 3000 volts.

Étalons de force électromotrice.

Les étalons de force électromotrice sont des couples dont la propriété essentielle est de ne point travailler et, par suite, de ne point s'altérer à circuit ouvert. Par contre ces couples sont très polarisables et ne peuvent fournir le moindre débit sans subir un changement d'équilibre. Les formules adoptées, en France et à l'Étranger sont multiples; leur bonne réalisation repose toujours sur l'emploi de matériaux purs et de composition fixe en même temps que sur l'isolement soigné de leurs pôles.

MESURE DES COURANTS ÉLECTRIQUES

Galvanomètre Thomson. — Modèle J. C.

Ce modèle établi d'après les données de Sir William Thomson diffère complètement des modèles construits en Angleterre. Le circuit du galvanomètre ainsi que l'équipage sont respectivement amovibles; le démontage complet de l'appareil se fait sans usage du tournevis et par le simple enlèvement de quelques boutons moletés. Le même appareil comporte donc des bobines de rechange pour approprier la constitution de son circuit aux mesures à effectuer. Le remplacement de l'équipage et, notamment, sa réparation à la suite de la rupture du fil de suspension, est une opération des plus aisées.

Tous les appareils construits dans les ateliers Ruhmkorff sont soumis,

avant leur sortie, à des essais dont les résultats sont consignés et constituent les archives. Mais chaque galvanomètre Thomson représentant un instrument de haute valeur, est l'objet d'une étude particulièrement minutieuse. Son signalement est établi par le diamètre du fil et le nombre de tours entrant dans chaque bobine, la résistance du circuit et la constante de sensibilité en correspondance avec la durée d'oscillation de l'équipage.

Galvanomètres Deprez. — Brevet Deprez-Carpentier.

Ces galvanomètres comportent une palette mobile en fer doux, puissamment polarisée par un aimant permanent et un circuit fixe. Ils ont été réalisés sous un très grand nombre de formes. Leur qualité essentielle est de fournir des indications extrêmement rapides; ils se prêtent tout particulièrement aux mesures industrielles. Ils sont appliqués soit à la mesure directe des intensités (*ampères-mètres*), soit à la mesure indirecte des différences de potentiel (*volts-mètres*), par l'appropriation de leurs circuits.

Dans les modèles à longue palette, les déviations de celle-ci, toujours limitées à une petite amplitude, sont amplifiées soit par une transmission à fil mouvant une aiguille (*modèle horizontal, palette articulée sur couteau*), soit par la méthode du miroir (*modèle vertical, palette mobile entre pointes sur crapaudine de pierre dure*). Ce dernier modèle, grâce à la faible valeur à laquelle on peut réduire l'inertie des pièces mobiles, est d'une promptitude et d'une fixité remarquables. Placé à poste fixe, il présente une précieuse invariabilité de constante et constitue un excellent type d'étalon.

Dans les galvanomètres à petite palette, les déviations de celles-ci sont observées directement à l'aide d'une aiguille se déplaçant devant un cadran gradué empiriquement. Ces appareils peuvent être construits pour donner des déviations symétriques et disposés de telle sorte que, par simple inversion du courant, l'aiguille se porte alternativement en deux positions également écartées de sa position de repos; dans ce cas, le champ de l'aimant et le champ du courant sont à angle droit. Mais, par un déplacement angulaire de l'un de ces champs par rapport à l'autre, on peut rendre les déviations dissymétriques et avantager les déviations produites d'un côté du zéro au détriment des déviations produites de l'autre côté.

Ampères-mètres et Volts-mètres industriels.[1] — Deprez-Carpentier.

Ces appareils ne sont autres que des galvanomètres Deprez à petite palette réalisés sous une forme très compacte, et disposés à l'intérieur de boisseaux cylindriques, ce qui les a fait, au début, comparer aux manomètres de l'électricité.

Réglés pour donner des déviations dissymétriques, ils indiquent le sens du courant qui les traverse en même temps que son intensité.

Les ampères-mètres et volts-mètres Deprez-Carpentier sont les premiers appareils du genre qui ont été introduits dans l'industrie.

Leur fabrication a pris une grande importance et a nécessité la création d'un outillage très complet.

Leur graduation exige des installations considérables, et elle a provoqué l'invention de machines à diviser spéciales qui permettent d'effectuer rapidement et avec exactitude, sur un cadran, un tracé correspondant à une loi quelconque. Le système de ces machines à diviser n'a pas encore été publié et a été réservé comme procédé de fabrication.

Galvanomètres Deprez-d'Arsonval. — Brevet Deprez-Carpentier.

Ces appareils utilisent la réaction que les conducteurs traversés par un courant subissent de la part d'un champ magnétique où ils sont plongés. Ils se composent essentiellement d'un cadre rectangulaire formé par l'enroulement d'un fil et disposé entre les jambes d'un aimant, de manière à pouvoir tourner autour d'un axe perpendiculaire aux lignes de force; un cylindre de fer, maintenu à l'intérieur du cadre, concentre les lignes de force dans les portions de l'espace où sont placées les branches de ce cadre.

La qualité essentielle du galvanomètre Deprez-d'Arsonval est son apériodicité. En raison de l'intensité du champ magnétique où se meut le cadre, la transformation de la force vive en énergie électrique est très rapide et l'amortissement très complet.

Les modèles établis d'après ce système sont nombreux. Les deux plus répandus sont : le modèle de laboratoire à miroir, et le modèle industriel, dit *volts-mètre de précision*.

Dans le modèle de laboratoire, le cadre est suspendu verticalement

entre deux fils d'argent tendus dont le triple rôle est de servir d'axe, de conducteurs et de ressorts antagonistes.

Dans le *volts-mètre de précision*, le cadre, de dimension réduite, est monté à pivots dans des pierres dures; des ressorts spiraux établissent les communications extérieures et fournissent en même temps l'effort antagoniste. Les déviations s'observent au moyen d'une aiguille se mouvant devant un cadran gradué : ces déviations sont sensiblement proportionnelles au courant, et les divisions du cadran égales entre elles. D'ailleurs, cette condition n'a rien d'obligatoire, la division du cadran pouvant se faire suivant une loi quelconque à l'aide des machines à diviser dont il a été question à propos des ampères-mètres et volts-mètres.

Électrodynamomètre. — Modèle J. C.

Pour la mesure des courants alternatifs, on doit recourir à l'électrodynamètre. Le modèle dont il est ici question, comporte deux circuits en croix; l'un fixe se compose d'un conducteur à grosse section proportionné à l'intensité du courant à mesurer; l'autre mobile est suspendu à l'aide de fils d'argent; il a la forme des cadres des galvanomètres Deprez-d'Arsonval et présente une assez grande résistance; ses extrémités sont reliées aux extrémités du premier circuit, par montage en dérivation; il ne reçoit qu'une fraction minime du courant total qui lui est amené par ses deux fils de suspension.

Dans cet appareil, c'est en donnant une torsion au fil de suspension supérieur qu'on ramène l'index au zéro : l'angle de torsion donne la mesure du courant.

Électrodynamomètre absolu de M. Pellat.

Cet appareil joue le rôle d'étalon dans la mesure des intensités; il n'a été réalisé qu'à un seul exemplaire et construit sur les indications et d'après les calculs de M. Pellat. Il est destiné à mesurer directement l'action qui s'exerce entre deux solénoïdes dont les éléments géométriques ont été déterminés avec la plus grande rigueur, et qui sont placés à angle droit l'un dans l'autre. Il consiste, en principe, en une balance dont le fléau dissymétrique porte, d'un côté, le plus petit des solénoïdes; le

support du fléau, construit en porte à faux, permet l'introduction du système à l'intérieur du plus gros solénoïde destiné à créer le champ d'action.

Le même courant passant dans les deux solénoïdes détermine un couple dont une formule facile à établir donne la grandeur en fonction de l'intensité du courant, et dont la balance donne la grandeur absolue. L'appareil permet donc de peser, pour ainsi dire, un courant et de connaître son intensité en chiffres absolus.

« Toute la valeur d'un instrument de ce genre, a écrit M. Pellat, dépend de sa bonne construction et du soin apporté à la détermination des longueurs qui entrent dans l'expression de la constante. »

Les mesures de longueur ont été faites les unes par le bureau international des poids et mesures, les autres par M. Pellat lui-même, mais rapportées au mètre international.

Quant à l'étude et l'exécution de l'appareil, elles ont été, aux ateliers Ruhmkorff, l'objet du travail le plus consciencieux. La balance est sensible à $\frac{1}{10}$ de milligramme.

L'erreur maxima que comporte la mesure est inférieure à $\frac{1}{2000}$.

Ampères-étalons de M. Pellat.

Ces appareils, dont le principe est le même que celui de l'électrodynamomètre absolu, sont de dimensions réduites et par suite très maniables. Leurs éléments ne sont l'objet d'aucune détermination absolue et leur étalonnement se fait par comparaison avec l'électrodynamomètre absolu, avec une exactitude de $\frac{1}{10000}$.

Les ampères étalons s'appliquent à la définition directe de courants compris entre 0,1 et 0,5 ampère.

MESURE DES RÉSISTANCES

Grand pont de Wheatstone à fil. — Modèle J. C.

Cet appareil a été spécialement étudié pour la commission des unités électriques, en vue de la méthode adoptée par M. Mascart pour la comparaison des étalons de résistance; il a servi au contrôle des étalons prototypes de l'ohm légal, construits au bureau international des poids et mesures, par M. R. Benoît, pour le ministère des Postes et Télégraphes.

Dans cet appareil, le fil, qui en est l'organe essentiel, occupe une position qui le met à l'abri des froissements accidentels. La pièce servant à établir le contact mobile est portée par un coulisseau parfaitement ajusté sur une forte règle métallique, longue de 1 mètre et divisée en millimètres; ce coulisseau est muni d'un rappel à vis et d'un vernier de manière à régler la position du contact mobile avec précision et de l'apprécier à $\frac{1}{20}$ de millimètre. La règle métallique est en outre susceptible d'un petit déplacement longitudinal, afin d'amener, s'il y a lieu, son milieu en face du point qui correspond au milieu électrique du fil. Le contact s'établit au doigt, mais par l'intermédiaire d'un ressort convenablement réglé dont la pression constante ne peut en aucun cas endommager le fil.

Toutes les communications du pont avec les résistances auxiliaires sont établies au moyen de godets à mercure; un commutateur à mercure permet d'intervertir les bras de proportion.

Les bras de proportion, pour les études de l'ohm, étaient formés de deux résistances en fils de maillechort, d'un ohm chacune, enroulées ensemble et isolées dans une masse de paraffine.

Boussole de proportion. — *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, octobre 1881.

Cet appareil, dont le principe, posé par Cl. Maxwell, a été retrouvé par le constructeur, d'autre part, a été réalisé et exposé en 1881.

On peut se représenter le système, en imaginant à la surface d'une sphère, dont un diamètre vertical serait pris comme axe polaire, deux circuits identiques, disposés suivant la circonférence de deux méridiens en

croix. Un courant passant par l'un des circuits exerce sur un pôle magnétique, situé au centre de la sphère, une force normale au plan de ce circuit et proportionnelle à sa propre intensité. Un autre courant, traversant le second circuit, détermine au centre de la sphère une deuxième force perpendiculaire à la première, Ces deux forces agissant simultanément se composent; la direction de la résultante ne dépend que du rapport des deux intensités et ce rapport de grandeur de l'une des composantes à l'autre est précisément mesuré par la tangente trigonométrique de l'angle formé par la résultante et la deuxième composante. Or, cet angle peut être facilement relevé au moyen d'une petite aiguille aimantée placée au centre de la sphère.

Mesure de résistances. Les deux circuits de la boussole étant identiques, un courant, appelé à se bifurquer entre eux, s'y divise en deux courants rigoureusement égaux. Mais, qu'on ajoute à l'un des circuits une résistance *à déterminer*, le partage du courant se fera dans une proportion inverse des résistances. Cette proportion étant connue comme il a été dit précédemment, le calcul de la résistance cherchée se fait par une formule simple.

Cette méthode de mesure des résistances a l'avantage de se réduire à une simple lecture.

L'appareil peut être réalisé sous des formes diverses et les circuits, au lieu d'être identiques, peuvent avantageusement différer suivant l'appropriation aux divers cas.

En renversant le dispositif précédemment décrit, c'est-à-dire en rendant mobile l'ensemble des deux circuits en croix et le plaçant au sein d'un champ magnétique puissant, on ne change rien au mode de mesure, mais on réalise un nouveau dispositif, pratiquement plus avantageux. C'est sous cette forme qu'a été établi l'appareil suivant.

Appareil pour mesurer l'isolement des installations.

Cet appareil, destiné à la mesure des grandes résistances, se compose de deux cadres analogues à ceux des galvanomètres Deprez-d'Arsonval ; ces deux cadres sont liés l'un au-dessous de l'autre, en croix, et leur ensemble est maintenu par une suspension à fils d'argent dans un champ magnétique fourni par des lames d'aimants. La déviation se lit sur un cadran empiriquement divisé en unités de résistance.

Accessoirement, une petite machine magnéto-électrique, spécialement construite pour cet usage et très légère, fournit le courant nécessaire à la mesure.

Étalons de résistance.

Étalons prototypes. — Les étalons prototypes de l'ohm ont été réalisés par M. Benoît au bureau international des poids et mesures; chacun d'eux est constitué par un tube droit en verre, présentant une section intérieure d'environ 1 millimètre carré et une longueur d'environ 106 centimètres. La monture, étudiée dans les ateliers Ruhmkorff, a été combinée de manière à donner au tube un soutien efficace ainsi qu'aux flacons de mercure dans lesquels il aboutit à ses deux extrémités, et à permettre de plonger l'ensemble dans un bain liquide de température déterminée.

Étalons secondaires de l'ohm en mercure. — Ces étalons, réalisés avec la collaboration de M. Benoît, prennent tantôt la forme même des prototypes, tantôt la forme de tubes en verre plusieurs fois recourbés sur eux-mêmes, de manière à occuper moins de place et à se suspendre, sous un couvercle d'ébonite, à l'intérieur de vases cylindriques en verre où ils peuvent plonger dans un liquide à température connue.

Étalons secondaires de l'ohm en fil métallique. — Ces étalons sont ceux qui s'emploient le plus couramment. Ils ont à peu près la forme extérieure des premiers étalons anglais.

Toutefois le circuit constituant la résistance type, enroulé en deux hélices parallèles, est isolé des influences de température extérieures par une couche de paraffine tapissant intérieurement l'enveloppe métallique qui le contient, de telle sorte que le thermomètre qui pénètre dans cette enveloppe, aux côtés de la résistance étalon, donne bien la température de l'enceinte où elle est enfermée à l'abri des rayonnements extérieurs.

Boîtes de résistances étalonnées.

La fabrication des boîtes de résistances étalonnées est extrêmement importante et très délicate. C'est l'une de celles que monopolisaient, pour ainsi dire, les maisons anglaises jusque vers 1880.

Elle repose tout entière sur les soins dont elle est l'objet et n'est possible qu'à la condition d'être pratiquée sur une grande échelle. Elle est conduite de la manière suivante :

Sur des carcasses de buis bien desséchées, dont la forme et le mode d'attache ont été très étudiés, on enroule le fil de résistance ; on fait à la fois l'emplissage de plusieurs centaines de bobines d'une même valeur (1000 ohms par exemple); on laisse au fil métallique, que le travail d'enroulement a fatigué, le temps de revenir à l'équilibre moléculaire. On mesure alors la résistance de toutes ces bobines en ayant soin d'éviter autant que possible l'échauffement par le contact de la main ou le passage inutilement prolongé du courant auxiliaire ; puis on procède pour chaque bobine à un premier réglage qui consiste à couper ce qu'on a intentionnellement laissé en trop dans l'embobinage. Après ce premier réglage, repos plus ou moins prolongé. Nouvelle mesure, nouveau réglage, nouveau repos et ainsi de suite jusqu'à ce que toutes les bobines soient arrivées à la résistance voulue. Ces opérations amènent un certain déchet, composé des bobines dont le circuit contient quelque défaut, défaut non apparent à l'œil et que décèlent seuls les essais électriques.

Pour les bobines fabriquées aux ateliers Ruhmkorff, le réglage définitif est singulièrement facilité et rendu précis par la présence, dans l'axe de chacune d'elles, d'un rhéostat individuel minuscule se manœuvrant de l'extérieur à l'aide d'une clef appropriée et permettant à tout moment de revenir sur une correction qui aurait dépassé le but.

La précision des résistances étalonnées sur bobines n'est jamais inférieure à $\frac{1}{2000}$.

Boîtes de résistances industrielles.

A côté des boîtes de résistances de haute précision et qui n'admettent l'emploi que de courants très faibles dans les opérations de mesure, il a été établi une catégorie de résistances étalonnées dites industrielles. Celles-ci sont fabriquées en galettes plates de fil, à la façon des éléments qui composent les bobines d'induction, et empilées l'une sur l'autre de manière à tenir le moins de place possible. La section des fils employés dans la confection de ces résistances est relativement grosse, et les met

dans une certaine mesure à l'abri des accidents provenant du passage de courants trop forts.

L'exactitude de ces résistances n'est pas inférieure à $\frac{1}{500}$.

Résistances étalonnées à grosse section.

Il y a lieu quelquefois d'employer des résistances de valeur connue et susceptibles de supporter le passage de courants intenses; ces résistances donnent notamment le moyen de mesurer ces courants, en évaluant la chute de potentiel qui se produit entre leurs extrémités.

Ces résistances sont tantôt en gros fils de maillechort roulés en hélices à air libre, tantôt en toile métallique offrant une surface de refroidissement considérable, tantôt enfin en tubes de laiton disposés pour comporter une circulation intérieure d'eau. C'est ce dernier dispositif qui s'adopte pour les courants de 1000 ampères et au-dessus.

Dans tous les cas, la section de ces résistances est calculée de telle sorte que le passage du courant pour lequel elles sont faites ne produise pas sur leur valeur une variation supérieure à $\frac{1}{100}$.

MESURE DES CAPACITÉS

Condensateurs étalonnés.

La fabrication des condensateurs de précision à diélectrique en mica était encore jadis réservée aux maisons anglaises. Très délicate comme celle des bobines de résistances, elle repose également sur les soins qu'on y apporte. Elle comporte un certain nombre de tours de mains que l'expérience seule amène à connaître et à perfectionner.

En ces dernières années, M. Bouty a eu l'idée de substituer aux feuilles d'étain, dans les condensateurs à mica, l'argenture directe des feuilles. La fabrication de ces condensateurs, organisée dans les ateliers Ruhmkorff, donne d'excellents résultats. Les condensateurs de ce système sont particulièrement remarquables par la petitesse de leur volume.

Enfin les condensateurs à diélectrique de papier enduit, employés en télégraphie et dans diverses branches de l'industrie, offrent eux aussi de réelles qualités quand ils sont confectionnés avec toutes les précautions voulues.

APPAREILS MAGNÉTIQUES

Magnétomètres.

Parmi les appareils destinés à effectuer des mesures magnétiques, on rappellera seulement la série des magnétomètres qui ont été réalisés sous la direction de M. Mascart, pour l'étude du magnétisme terrestre, et comprenant comme fond les appareils suivants.

Magnétomètre unifilaire. — Pour l'étude des variations de direction que subit la composante horizontale.

Magnétomètre bifilaire. — Pour l'étude des variations d'intensité que subit la composante horizontale.

Balance magnétique. — Pour l'étude des variations d'intensité que subit la composante verticale.

Cette série d'appareils est complétée par les accessoires qui permettent de les employer par l'observation oculaire ou par enregistrement photographique.

Boussoles à aiguilles multiples de S. W. Thomson.

La fabrication de ces boussoles, dont la marine française a adopté l'emploi, a été également importée. Mais elle n'a amené aucune étude de formes nouvelles, les appareils anglais ayant été copiés avec fidélité. Elle ne présente de difficultés que pour la confection soignée des chapes en pierre dure et des pivots en platine iridié.

Boussoles marines à aiguilles multiples à immersion.

Ces boussoles, dérivées du système de sir William Thomson, ont été

étudiées en collaboration avec M. Collet, lieutenant de vaisseau, répétiteur à l'École polytechnique.

A signaler la confection assez délicate du système aimanté, destiné à plonger dans le liquide amortisseur. Ce système est constitué par un gril d'aiguilles d'acier aimantées enfermé dans une boîte circulaire plate à fonds de mica, sertie dans une garniture d'argent, et rendue étanche par un remplissage de paraffine.

TÉLÉGRAPHIE

Appareils Baudot.

L'une des œuvres les plus importantes et les plus intéressantes au point de vue mécanique, qui aient été accomplies aux ateliers Ruhmkorff, est incontestablement l'étude et la fabrication des télégraphes multiples imprimeurs du système Baudot. Le système Baudot, fondé sur des combinaisons particulièrement ingénieuses, est aujourd'hui très connu ; il a réussi, dans les mains de l'inventeur, à résoudre tous les problèmes qui se posent dans l'exploitation des lignes télégraphiques, et a fini par prendre peu à peu possession de la presque totalité de notre réseau national. C'est le télégraphe français par excellence.

Le système Baudot, destiné aux transmissions à grande vitesse sur les lignes très chargées, repose sur plusieurs principes également féconds. Afin de ne point limiter le rendement d'un fil à ce que peut fournir la manipulation d'un seul employé, même actif et disposant de bons appareils, M. Baudot réunit, au poste d'émission, un groupe d'employés dont le nombre est tel que, chacun d'eux manipulant dans le temps strictement nécessaire à ses opérations, la quantité de signaux qu'ils peuvent produire ensemble représente le maximum de ce que la ligne est capable de transmettre. Battant alors la mesure à ces manipulants, il les fait, pour ainsi dire, marcher au pas, et au moyen d'un appareil nommé *distributeur*,

tournant d'une manière continue et qui joue le rôle d'un râteau constamment relié à la ligne, il ramasse en quelque sorte les signaux déposés dans chaque *manipulateur* et les lance en file serrée sur la ligne. Au poste d'arrivée, sont installés les appareils récepteurs en nombre égal à celui des manipulateurs d'émission, et dont chacun est successivement mis en rapport avec la ligne, par l'office d'un distributeur analogue à celui du poste envoyeur, au moment précis où arrivent les signaux qui lui sont destinés. On comprend maintenant pourquoi le système est dit multiple, et on saisit l'un des principes qui lui sert de base.

Les deux distributeurs extrêmes, dont nous avons signalé l'existence, marchent, cela va sans dire, dans le synchronisme le plus rigoureux, et les *moteurs* qui les actionnent doivent être munis des organes *régulateurs* qui assurent l'établissement facile et la conservation absolue de ce synchronisme. Voici un deuxième principe.

Quant à la nature des signaux qui découle d'un troisième principe, on rappellera que, dans le système, chaque lettre est formée uniformément par cinq émissions de courants positifs ou négatifs, égaux en durée, et correspond à l'une des combinaisons que peuvent fournir cinq objets pris ensemble d'une manière quelconque. Le *manipulateur* d'émission comporte donc cinq touches, dont le maniement correspond aux lettres de cet alphabet spécial.

Le système est imprimeur : l'appareil récepteur, au moyen d'une roue des types, écrit la dépêche en caractères de l'écriture ordinaire sur une bande continue. Mais, cet appareil ne recevant que des signaux semblables à ceux qu'émet le manipulateur, le passage de ces signaux aux caractères d'imprimerie exige une traduction. L'appareil récepteur qui, à cause de cette particularité, a reçu le nom de *traducteur*, a des organes combinés pour exécuter instantanément cette opération.

Enfin, comme intermédiaires entre la ligne qui n'apporte que des ondes électriques à peine perceptibles et les organes de réception qui réclament des impulsions énergiques, des *relais* d'une grande sensibilité interviennent comme des servo-moteurs d'une docilité idéale.

Qu'on parcoure des yeux l'exposé qui précède et l'on verra ressortir les mots *distributeurs*, *moteurs*, *régulateurs*, *manipulateurs*, *traducteurs*, *relais*. Ce sont là les noms de tous les appareils que le constructeur a eu à

étudier et à réaliser, sans compter tous les accessoires indispensables pour compléter le système. Si l'on veut bien songer à la durée infime des signaux élémentaires, d'une part, et, d'autre part, à la délicatesse de l'organisme capable de traduire cinq de ces signaux électriques en une lettre imprimée, on comprendra toutes les conditions de précision et d'ingéniosité qu'a dû satisfaire le travail du constructeur.

Ce travail, entrepris en 1879, a été constamment poursuivi sans interruption, sous la direction de l'éminent inventeur, pour apporter toujours de nouveaux moyens à la solution des problèmes nouveaux qui naissent chaque jour de la variété des circonstances. Le nombre des modèles, établis par modifications successives, ne se compte plus, et il y aurait là de quoi fatiguer la constance du producteur sans le haut intérêt qui s'attache au perfectionnement d'un système vraiment admirable.

ACOUSTIQUE

Mélographe. — *Comptes rendus* du 31 mai 1887.

On appelle mélographes, en général, les appareils destinés à sténographier, pour ainsi dire, les improvisations musicales exécutées sur les instruments à clavier. Le problème qu'ils servent à résoudre a été posé, il y a fort longtemps, et le nombre des systèmes, qui ont cherché à atteindre le but, ont été fort nombreux.

Le mélographe dont il est ici question, et dont la fonction, en définitive, est de conserver les traces de tous les mouvements imprimés aux diverses touches d'un clavier, constitue un appareil entièrement indépendant des pianos ou orgues auxquels il s'annexe et dont il n'altère en rien les formes et la construction; il est simplement mis en relation avec le clavier par un faisceau de fils métalliques, dont chacun correspond à une touche et à travers lesquels l'électricité sert d'agent de transmission.

Étant donnée la nature du phénomène à enregistrer, c'est-à-dire l'abaissement d'une touche et le mode de transmission adopté, l'électricité, le problème se trouve naturellement ramené à une question de chronographie que résout complètement le télégraphe Morse. Aussi ne saurait-on mieux comparer le mélographe qu'à un télégraphe Morse multiple, et ne saurait-on mieux en concevoir les dispositions et le fonctionnement qu'en se reportant à ce télégraphe que tout le monde connaît.

Le mélographe fournit des inscriptions à l'encre sur une bande continue de papier. Cette bande large doit être idéalement considérée comme la réunion d'un certain nombre de bandes étroites dont chacune est réservée à une touche du clavier. Une des principales difficultés à vaincre dans la réalisation du mélographe a été de réduire à un minimum la largeur des bandes élémentaires tout en conservant aux organes ainsi resserrés une

entière sûreté de fonctionnement. Le minimum adopté a été de 3 millimètres.

Le mélographe comprend trois parties :

La première partie est le transmetteur, constitué par l'ensemble des contacts électriques que commandent les touches du clavier.

La deuxième partie est le moteur, destiné à opérer l'entraînement régulier et continu de la bande. Le moteur électrique, qui a été combiné pour cet emploi, remplit bien les conditions imposées. Il est muni d'organes régulateurs énergiques et sa vitesse n'est point influencée par l'entrée en ligne d'un nombre quelconque d'organes traceurs.

La troisième partie est le récepteur, comprenant l'ensemble des organes d'inscription : c'est le mélographe proprement dit. Au-dessus de la bande de papier, un cylindre à gorges peut être considéré comme la réunion d'une série de molettes qui, constamment encrées par un tampon cylindrique placé au-dessus et enduit d'encre oléique, représentent comme autant d'encriers toujours prêts à déposer sur le papier les traces visibles des signaux transmis. Au-dessous du papier, une série de styles placés verticalement sont actionnés chacun par un électro-aimant et, soulevant le papier dès qu'ils en reçoivent l'ordre, l'appliquent, aux moments voulus, contre les molettes encrées. Plusieurs dispositifs accessoires assurent à l'inscription une netteté irréprochable.

L'appareil est d'un maniement simple et ne se dérange point. Le modèle établi en 1887 a fonctionné constamment, aux ateliers Ruhmkorff, depuis cette époque et n'a rien laissé à désirer. Il résoudrait entièrement le problème de la mélographie si le problème pouvait être considéré comme entièrement résolu par le tracé correct des graphiques que peuvent fournir tous les appareils de ce genre.

Dans les tracés obtenus au mélographe, chaque note est représentée par un trait dont la position par rapport aux bords de la feuille correspond à la hauteur musicale de cette note et dont la longueur correspond à sa durée. Les motifs, formés par la succession des notes dans la continuité du temps, trouvent ainsi une représentation à la fois fidèle et parlante dans les dessins qui se forment dans l'espace occupé par l'inscription.

Mais l'écriture mélographique très satisfaisante en théorie ne saurait guère être d'une application pratique. Si elle contient tous les éléments de

la mesure, elle les contient masqués par les mille irrégularités qu'introduit le sentiment aussi bien que l'inhabileté ou l'hésitation du musicien et ne permet en aucune manière de saisir les rapports simples et définis dans lesquels tend à se renfermer toute construction musicale, rapports que la notation vulgaire met si bien en évidence.

En un mot, un compositeur, mis en possession de l'inscription mélographique d'une de ses productions, non seulement serait incapable de la relire au pupitre, mais, pour la transcrire en notation vulgaire, devrait se livrer à un long, pénible et fastidieux travail d'interprétation.

Pour tourner la difficulté et utiliser les précieux documents que fournit le mélographe, il a paru à l'auteur de l'appareil que le meilleur procédé était de demander à la mécanique ce que ne peuvent faire les organes de l'homme en combinant un deuxième appareil, destiné à rejouer sur un clavier quelconque les morceaux inscrits au mélographe.

Mélotrope.

Le mélotrope est l'appareil imaginé pour servir de complément au mélographe et traduire ses bandes en morceaux exécutés.

Les bandes mélographiques, pour être rendues lisibles par des organes mécaniques, doivent subir une opération : la perforation ; les traits doivent être transformés en trous. Un outil spécial, simple et d'un maniment facile permet d'exécuter rapidement cette perforation.

Le mélotrope se présente sous la forme d'une caisse rectangulaire que l'on installe au-dessus d'un clavier au moyen d'équerres spécialement disposées à cet effet. A travers le fond de l'appareil sortent une série de doigts ou *pilotes* garnis de feutre, qui, dans le fonctionnement de l'appareil, recevant une impulsion de l'intérieur, descendent sur les touches et les actionnent.

La force nécessaire à l'enfoncement de chaque touche est prise sur un cylindre qui reçoit de l'extérieur un mouvement de rotation continue. A chaque pilote est fixé, par une de ses extrémités, un cordon qui fait deux tours et demi dans une gorge pratiquée sur le cylindre en question et vient, par l'autre extrémité, s'attacher à un petit secteur de bois. La circonférence de ce secteur est, au repos, toute proche de la surface du cylindre

moteur, mais n'y touche point, de telle sorte que le cylindre moteur peut tourner sans entraîner le secteur. Cependant, par le jeu des pièces de l'appareil, le secteur vient-il à être amené, d'un petit mouvement, au contact du cylindre moteur, il se trouve embrayé par action de frottement, se soulève, exerce un effort de traction sur le brin du cordon qui lui est fixé et, suivant les lois du frottement des cordes sur les cylindres, à l'autre extrémité du cordon se trouve disponible une force incomparablement plus considérable, dont l'effet est d'enfoncer le pilote et la touche placée au-dessous. De même qu'un mouvement d'approche du secteur détermine l'embrayage et la marche en avant du pilote, de même un petit recul du secteur permet le débrayage et le retour en arrière du pilote, rappelé par un ressort antagoniste.

Tout le principe de l'appareil réside dans l'application qui vient d'être décrite des lois du frottement. On trouve là l'exemple d'un servo-moteur d'un nouveau genre et dont la docilité est merveilleuse. Pour donner une idée de ses qualités à ce dernier point de vue, il suffit de dire que le mécanisme du Mélotrope permet de faire entendre une note répétée jusqu'à dix fois dans une seconde.

Au point de vue scientifique, il est inutile d'insister sur le détail des dispositions qui soumettent le jeu des secteurs d'embrayage au passage des trous de la bande perforée en face des organes de lecture, non plus que du mécanisme d'entraînement des bandes.

Il est peut-être intéressant au contraire de s'arrêter à l'explication du procédé qui permet à l'instrument de jouer avec expression, c'est-à-dire à volonté, fort ou doucement. L'énergie avec laquelle un marteau de piano frappe la corde, dans le jeu manuel, dépend de la force avec laquelle le doigt conduit la touche à fond; mais on peut également la graduer, en ne soumettant la touche à une force constante que sur une fraction de sa course et limitant son enfoncement à un degré variable. C'est ce dernier procédé qui a été mis à profit dans le Mélotrope. Une petite poussette placée sur la face antérieure de l'appareil, à portée de la main gauche de l'exécutant, permet de déplacer la butée destinée à limiter la course des secteurs d'embrayage et, par suite, des pilotes et des touches.

Le Mélotrope, imaginé pour servir de complément au Mélographe, constitue en lui-même un instrument propre à jouer automatiquement du piano.

Industriellement, c'est cet emploi qui a fait son succès. Le Mélographe a surtout servi à constituer au Mélotrope un répertoire de morceaux joués par des artistes et dénués, par suite, du caractère de sécheresse qu'impriment à la musique mécanique les anciens procédés de piquage.

Il convient d'ajouter que la fabrication des bandes perforées, employées à actionner le Mélotrope, a provoqué la création de machines automatiques qui, à l'aide d'un premier type, tracé au Mélographe et perforé à la main, permettent de reproduire ce type à un nombre quelconque d'exemplaires sans intervention aucune de la main de l'homme.

Mélographe perforateur.

Les descriptions qui précèdent permettent de comprendre plus aisément un système de Mélographe, dont la réalisation a précédé celle du Mélographe traceur et qui a été produit à l'exposition d'Électricité de Paris en 1881.

Cet appareil, au lieu de comporter la décomposition des opérations qui a été indiquée plus haut, exécutait lui-même la perforation immédiate des bandes destinées à recevoir l'inscription. Pour obtenir ce résultat, à la place du cylindre à molettes encrées, était disposé un outil tournant à grande vitesse et muni d'autant de paires de lames aiguisées qu'il existait de styles dans l'appareil. Les styles avaient également comme fonction d'approcher le papier de ces molettes coupantes, mais ce rapprochement avait pour effet de provoquer le découpage du papier. Il est indispensable de dire que, afin d'éviter la rencontre des lames coupantes et des styles soulevant le papier, la bande en papier mince était doublée d'une autre bande en papier épais, et que le réglage des organes de l'appareil était assez précis pour que la bande supérieure fût seule traversée, tandis que l'autre n'était entamée que sur une fraction de son épaisseur.

Les bandes une fois perforées étaient de nouveau réembobinées dans l'appareil. Celui-ci était muni d'une deuxième série d'organes destinés à lire électriquement la bande dans un second déroulement, c'est-à-dire à prendre contact à travers les trous dont elle se trouvait ajourée et à lancer des courants dans les fils d'un faisceau réunissant le Mélographe à un harmonium auquel il était annexé. Sous l'influence de ces courants, les touches de l'harmonium étaient abaissées par des électro-aimants, d'après

les combinaisons tracées sur la bande, et l'instrument faisait réentendre le morceau qui avait été joué à la main une première fois.

L'appareil était à proprement parler un objet de curiosité, et, bien qu'il fonctionnât fort bien entre des mains habiles, son maniement était compliqué et délicat et ne se prêtait nullement à un emploi courant.

Batteur de mesure. — *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, novembre 1886.

Cet appareil a été combiné à la demande des directeurs de l'Opéra.

L'exécution des œuvres de musique théâtrale exige qu'à certains moments se fassent entendre, dans la coulisse, des chants, des chœurs, des parties instrumentales, et il est de la plus stricte nécessité que l'ensemble le plus parfait règne entre les musiciens dissimulés et ceux qui jouent dans la salle. Il faut que le chef d'orchestre puisse tenir sous sa direction ceux qui ne le voient pas, aussi bien que ceux qui suivent les mouvements de sa baguette; il faut, en un mot, qu'il possède un moyen de transmettre à distance les indications du rythme.

Divers appareils ont été proposés pour atteindre ce résultat. Les uns sont de simples frappeurs électriques, dont les avertissements s'adressent à l'oreille des intéressés; les autres comportent une véritable baguette dont le mouvement donne un signe visible. Ces appareils sont, les uns et les autres, commandés électriquement à distance par le chef d'orchestre, à la disposition duquel est un manipulateur.

Les frappeurs s'entendent mal et sont insuffisants; les baguettes oscillantes, constituant de vrais pendules, se montrent rebelles aux mouvements qui sont en désaccord avec leurs tendances, et leur inertie leur défend de changer brusquement d'allure.

Le système dont il s'agit est de la famille des signaux visibles. Il donne l'impression d'une baguette oscillante, mais il ne présente pas les inconvénients qui viennent d'être signalés, parce qu'il repose sur une pure illusion d'optique.

Sur un panneau noirci, deux sillons ont été pratiqués et forment entre eux l'angle que l'on voit ordinairement décrire à la baguette d'un chef d'orchestre. Dans chacun de ces sillons, une règle carrée est montée de

telle sorte qu'elle puisse rapidement pivoter autour de son axe d'un quart de tour et montrer alternativement deux de ses faces. De ces faces alternativement apparentes, l'une est noire, comme le panneau; l'autre est blanche. Quand, par un mouvement brusque, la face blanche est remplacée par la face noire, la règle semble disparaître; si, en même temps, le mouvement inverse se produit pour la deuxième règle, celle-ci apparaît. L'œil, qui se porte alternativement sur celle des règles qui est blanche, croit voir une règle unique se mouvoir entre deux positions extrêmes. Un mécanisme très simple, dont le principal organe est un électro-aimant, permet de produire le mouvement simultané de pivotage des deux règles, et le chef d'orchestre n'a, pour le commander à distance, qu'à appuyer sur un bouton ou une pédale, en suivant le rythme qui correspond à la mesure.

L'illusion repose sur ce fait, que l'œil se précipite malgré lui sur les lignes qui se détachent en blanc sur un fond noir, et elle est d'autant plus complète que, par suite de la persistance des impressions sur la rétine, il se charge, dans sa promenade alternative, de peindre en gris le secteur compris entre les deux limites de ses excursions.

OPTIQUE

ÉTUDE DES COULEURS ET PHOTOGRAPHIE

Procédé d'impression photographique. — Ch. Cros et Carpentier. — *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, juin 1881.

Charles Cros, se fondant sur des conceptions pures, a imaginé et publié, en 1869, un système de photographie des couleurs, reposant sur l'analyse et la synthèse successive des colorations qui habillent tous les objets de la nature.

Il partait de l'idée absolue que : *les couleurs sont des essences qui, de même que les figures, ont trois dimensions, et, par conséquent, exigent trois variables indépendantes dans leurs formules représentatives* et proposait d'analyser photographiquement l'apparence des objets dont on désirait fixer les images, au moyen de trois clichés pris à travers trois écrans, ne livrant passage chacun qu'à l'un des trois éléments constitutifs de la couleur, puis, par synthèse, de composer l'image par la combinaison de trois épreuves monochromes obtenues à l'aide des clichés élémentaires.

Si contestables que paraissent les idées de Ch. Cros relatives à la constitution de la couleur, ou plutôt si peu appuyées qu'elles soient sur des bases scientifiques, il est certain que son système complété par un ensemble de procédés pratiques conduit à des résultats véritablement remarquables. L'auteur de cette notice, que les circonstances ont amené à devenir l'ami et le collaborateur de Ch. Cros, a obtenu avec lui et sans lui des reproductions de tableaux, d'aquarelles et d'objets divers qui se rapprochaient fort des modèles. La véritable objection à faire jusqu'à présent au système, c'est que, par le choix qu'il laisse à l'opérateur des écrans tamiseurs et des pigments employés à teindre les images monochromes

élémentaires, il contient une part d'arbitraire qui en rend l'application très difficile et mal assurée.

Quoi qu'il en soit, le procédé d'impression photographique, dont il est question ici, est un de ceux qui ont été imaginés pour faire la synthèse des reproductions. Les épreuves qu'il fournit sont constituées sur une glace-support par trois couches de collodion albuminé. On prépare ces couches en versant d'abord sur la glace du collodion contenant 2 ou 3 parties pour 100 de bromure de cadmium. On immerge ensuite la glace dans un bain d'albumine fait de dix ou douze blancs d'œufs pour 1 litre d'eau.

L'albumine se coagule dans la trame du collodion par l'action de l'alcool et du bromure de cadmium. On constitue ainsi une couche très régulière d'une trame assimilable à celle du coton animalisé des teinturiers. Cette couche est imbibée de bichromate d'ammoniaque, puis séchée à l'étuve. Alors on applique sur la plaque ainsi sensibilisée un positif par transparence et l'on expose pendant quelques minutes à la lumière diffuse. La plaque est lavée ensuite et plongée dans un bain colorant.

Sous l'action de la lumière, le bichromate a fait subir à l'albumine déjà coagulée une seconde contraction telle qu'elle ne se laisse plus imbiber ni teindre. Dans les parties protégées au contraire par les opacités du positif, la matière colorante pénètre et se fixe.

Il est facile d'obtenir par ce moyen des images photographiques en toute espèce de couleurs. Ces images produites sur glace sont invariables dans leurs dimensions. Il suffit donc, pour faire la synthèse des trois monochromes élémentaires de Cros, de les produire en superposition sur une même glace.

Définition, classification et notations des couleurs (projet). — *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, mars 1885.

La couleur d'une surface, en tant que propriété optique, serait entièrement définie si l'on indiquait son pouvoir réfléchissant pour toutes les radiations simples. Mais en admettant que le nombre des radiations simples fut limité, une telle définition, en raison de sa complexité, serait impossible à formuler. Or l'expérience semble montrer que, au moins pour l'impression physiologique, *une couleur est définie par ses pouvoirs*

réfléchissants pour trois radiations simples déterminées, convenablement choisies dans l'échelle du spectre. En d'autres termes, deux surfaces auxquelles notre œil attribue la même couleur posséderaient les mêmes pouvoirs réfléchissants pour les trois mêmes radiations d'épreuve, et deux surfaces différant par l'un au moins de ces pouvoirs nous apparaîtraient sous des couleurs distinctes.

Cette loi, tout en n'étant peut-être qu'une approximation, semble ressortir d'une manière frappante des essais de photographie des couleurs, poursuivis par divers expérimentateurs, suivant le système de Charles Cros dont il a été question à l'article précédent.

A côté des preuves indirectes que ces essais fournissent à l'appui de l'existence de cette loi, voici une méthode plus scientifique qui permettrait d'en vérifier l'exactitude.

Il conviendrait d'abord de prendre, comme mesure du pouvoir réfléchissant d'une surface pour une radiation simple, le rapport de la quantité de cette radiation simple que renvoie la surface à la quantité de la même radiation que renverrait une surface *blanche* éclairée dans les mêmes conditions. Il est bon de remarquer que, bien qu'une couleur aperçue à la lumière du jour nous apparaisse plus ou moins rabattue, pour employer une expression de M. Chevreul, suivant que le jour est plus ou moins vif et que, en réalité, elle change d'aspect à mesure qu'on la fait passer de la pleine lumière à l'obscurité, la définition qui précède est indépendante de l'éclairement. Elle donne à chaque couleur une caractéristique qui n'a rien de relatif.

En partant de là, le plan des expériences à suivre consiste à réunir le plus grand nombre possible de petites surfaces teintées différemment, à porter chacune d'elles, en même temps que la surface blanche de comparaison, successivement dans les trois régions du spectre adoptées pour les épreuves, et de mesurer, par la photométrie, le rapport d'éclairement des deux surfaces juxtaposées.

La considération des pouvoirs réfléchissants permet de donner des couleurs une représentation géométrique assez curieuse. Une couleur, déterminée par trois pouvoirs réfléchissants, peut être assimilée à un point dans l'espace, rapporté à trois plans rectangulaires, ayant pour coordonnées les trois pouvoirs de cette couleur. Le blanc a les pouvoirs réflé-

chissants maxima : représentons-le par un point, dont les trois coordonnées sont égales entre elles et égales à neuf unités. Toutes les autres couleurs sont représentées par des points compris dans le cube formé par les trois plans coordonnés, et trois autres plans, parallèles aux plans coordonnés, passant par le point image du blanc ; le noir est à l'origine.

Divisons les arêtes du cube en neuf parties égales ; faisons passer par les points de division des plans parallèles à ses faces. Nous aurons ainsi formé, à l'intérieur du cube principal, 729 ($= 9^3$) petits cubes secondaires, dont les sommets se trouvent en mille points distincts. Ces mille points sont tous ceux dont les coordonnées sont représentées par des nombres entiers compris entre 0 et 9 inclusivement.

On peut alors, à l'aide d'une notation symbolique, désigner chacun des mille points par le nombre formé en écrivant, à la suite l'un de l'autre et dans un ordre invariable, les trois chiffres correspondant à ses coordonnées. La formule générale de ces symboles est XYZ, et leur succession celle de tous les nombres entiers compris entre 0 et 999, inclusivement.

Ce système permet donc de formuler mille couleurs par la série des nombres naturels de 0 à 999 ; dans ces nombres, chaque chiffre, par son rang, prend une signification précise : le chiffre des unités représente le pouvoir réfléchissant relatif à une radiation simple déterminée, le rouge, par exemple, pris à une place bien définie du spectre solaire ; le chiffre des dizaines, le pouvoir réfléchissant pour le jaune; le chiffre des centaines, le pouvoir réfléchissant pour le bleu. Le nom d'une couleur n'est autre que l'énoncé du nombre qui la symbolise.

Ce système de nomenclature et de classement pourrait recevoir le nom de *classification cubique*, à cause de la représentation géométrique qui le figure le mieux.

Le réseau formé par mille couleurs à coordonnées entières peut paraître insuffisant, surtout pour les gammes les plus riches ; rien ne s'oppose à ce que, dans la détermination des pouvoirs réfléchissants, on admette une décimale et qu'on étende le mode de notation, de manière à l'appliquer à un million de couleurs dont le symbole serait XYZ, xyz.

Photojumelle à répétition.

Cet appareil a été imaginé pour faciliter et simplifier les opérations de la photographie documentaire. Réduit à de petites dimensions pour rester essentiellement portatif et maniable, il donne des clichés très petits; mais le choix et le réglage de son optique sont l'objet de soins tout spéciaux, afin que ces clichés, possédant le maximum de finesse réalisable, donnent à l'agrandissement des images complètes et irréprochables. C'est par ce côté que la photojumelle rentre dans la catégorie des instruments de précision et que sa fabrication soulève des questions d'ordre réellement scientifique.

La forme extérieure de l'appareil n'a pas été choisie par pure fantaisie. En dehors du fait qu'elle se prête bien au groupement des organes, elle remplit une condition capitale au point de vue théorique : celle d'imposer à l'opérateur de ne prendre des vues qu'à la hauteur même de ses yeux et de conserver aux images obtenues la perspective exacte sous laquelle les objets ont été regardés. Ce point, dont l'importance a longtemps passé inaperçue, est une particularité propre à caractériser la famille des appareils dont la photojumelle est le type.

La photojumelle porte deux objectifs, et c'est leur accouplement qui la fait ressembler aux lorgnettes binoculaires d'emploi courant. Mais ces deux objectifs diffèrent entièrement l'un de l'autre. L'un forme les images des objets extérieurs sur la surface de la plaque sensible : c'est l'objectif photographique. L'autre, qui se réduit à une simple loupe biconcave, donne des objets une image virtuelle, diminuée, mais droite et très lumineuse; cette image est observée par l'opérateur à travers une loupe biconvexe située à la partie postérieure de l'appareil, et formant oculaire grossissant; l'ensemble de ces deux loupes constitue un viseur au moyen duquel il est facile de diriger l'appareil vers les objets à prendre, de suivre le sujet généralement mobile qu'ils composent et de le saisir au moment voulu.

L'appareil comporte en outre un obturateur rapide, qui s'arme sans découvrir l'objectif photographique, et qui, déclenché par l'intermédiaire d'un petit bouton de manœuvre, livre passage aux rayons utiles pendant une durée de $\frac{1}{40}$ de seconde environ, pour les poses instantanées.

Enfin l'appareil est à répétition : il contient dans un magasin qui s'y trouve aménagé une provision de plaques, qu'une manœuvre simple permet

de substituer les unes aux autres, de manière que chacune à tour de rôle se présente dans la position où elle sera impressionnée.

L'appareil en raison de la faible distance focale de son objectif est réglé une fois pour toutes en vue de donner des images nettes des objets situés à une distance supérieure à 7 ou 8 mètres. Mais sa mise au point, pour être aussi précise que possible, exige des précautions toutes particulières ; il ne faut pas en effet songer à opérer par observation des images sur glace dépolie, même avec le secours d'une loupe. Les détails des images, pour de si petits objectifs, sont de l'ordre de grandeur des grains mêmes de la glace dépolie, et la confusion qui en résulte laisse une incertitude d'où il est impossible de sortir ; en outre, beaucoup d'objectifs, qui peuvent être considérés comme bons, ne sont pas complètement exempts de foyer chimique, de telle sorte que le point optique diffère un peu du point photographique, le seul à réaliser. C'est pourquoi l'opération de la mise au point est faite, pour les objectifs de photojumelle, par une méthode exclusivement photographique. Un appareil, spécialement combiné à cet effet, permet de faire, avec chaque objectif, sept clichés successifs, correspondant à des écarts gradués, par quarts de millimètre, entre l'objectif et la plaque ; ces clichés développés et complètement achevés sont observés directement et, de la position qu'occupe dans la série celui qui peut être considéré comme le meilleur, se déduit la valeur exacte du tirage qu'il convient d'adopter et qui correspond au maximum de netteté. Cette méthode, à l'abri de toute critique, donne des résultats irréprochables.

Un autre organe, dans la photojumelle, est susceptible d'un réglage également minutieux, c'est l'obturateur dont la rapidité représente un facteur important dans les opérations photographiques. Toutefois la détermination de la vitesse d'obturation est relativement simple. Un petit chronographe de forme appropriée et muni d'un diapason taré permet d'obtenir facilement en centièmes de seconde le chiffre qui correspond au temps de pose.

La photojumelle, donnant des clichés destinés à l'agrandissement, a dû être complétée par un appareil accessoire qui a pour fonction de produire cet agrandissement, en épargnant à l'opérateur tous les tâtonnements qu'entraîne l'emploi des appareils ordinaires. Cet appareil est le *châssis amplificateur*. L'objectif qu'il contient, placé à des distances invariables entre le cliché à agrandir et le papier sur lequel a lieu le tirage de

l'épreuve, a été, comme celui de la photojumelle, mis au point une fois pour toutes, par des procédés semblables et au moyen d'instruments auxiliaires analogues et se trouve dans les conditions de netteté maxima. Le travail de l'opérateur est alors réduit au chargement de l'appareil et au développement des feuilles impressionnées.

La construction scientifique des appareils de photographie impose l'étude attentive des objectifs. Étant donnés la grandeur d'une plaque, la distance focale approximative de l'objectif à employer pour la couvrir et un certain nombre d'objectifs du type convenable, offerts au choix de celui qui veut adopter le meilleur, il est indispensable de posséder une méthode et des appareils propres à fournir de chacun d'eux un signalement distinctif et sincère. Puis, le meilleur objectif étant choisi, il faut pouvoir le connaître complètement en déterminant ses principales constantes.

C'est pour répondre aux deux parties de ce programme qu'ont été combinés le *Focograde* et le *Focomètre*.

Focograde.

L'appareil se compose d'une chambre noire sur laquelle se monte l'objectif à étudier et qui permet d'obtenir avec cet objectif, sur une même plaque, une série d'images d'une mire spéciale placée en regard. La chambre et la mire sont installées sur un banc d'épreuve et peuvent à volonté se rapprocher ou s'éloigner l'une de l'autre. La mire est une règle couverte de papier bien noir, disposée horizontalement et sur laquelle, de 5 en 5 centimètres, sont collés de petits voyants carrés, en papier blanc quadrillé de noir; les traits noirs du quadrillage ont $0^{mm},5$ de large et l'intervalle blanc entre deux traits est également de $0^{mm},5$, de telle sorte que chaque voyant est couvert d'un semis de petits points blancs carrés de $0^{mm},5$ de côté, séparés par des intervalles noirs de $0^{mm},5$.

La règle se place à telle distance de l'objectif que, sur le cliché, l'image de la mire en soit exactement une réduction à $\frac{1}{10}$. Sur le cliché, les voyants sont donc espacés de 5 en 5 millimètres et les points du semis, qui apparaissent en noir, mesurent $\frac{1}{20}$ de millimètre de côté. La netteté est

regardée comme suffisante dans une région de cliché pour les objectifs de photojumelle, quand les points du semis s'y distinguent clairement les uns des autres.

L'astigmatisme a pour conséquence de coller entre eux les points soit horizontalement, soit verticalement, suivant qu'il est lui-même radial ou tangentiel, et, sous son influence, les voyants se transforment en série de lignes horizontales ou verticales. Il va sans dire que, là où cette transformation a lieu, la netteté doit être considérée comme imparfaite.

La plaque sur laquelle se photographie la mire a une largeur suffisante pour contenir douze images superposées. Ces images sont obtenues successivement en remontant par degrés la glace sensible dans le châssis, disposé spécialement pour cela.

En même temps, on produit un accroissement progressif du tirage de la chambre en marchant par pas égaux, de $0^{mm},5$ par exemple (*de là le nom de l'appareil : focograde*). Les douze bandes imprimées sur la même plaque peuvent alors être considérées comme des sections de niveau faites dans le volume focal de l'objectif, aux environs d'un plan diamétral par une série de plans perpendiculaires à l'axe de l'objectif, par suite, parallèles entre eux, et régulièrement espacés.

On trouve donc dans un tel cliché tous les éléments pour étudier le volume focal d'un objectif, pour en tracer une coupe diamétrale en s'arrêtant aux limites de la région qui correspond à une netteté définie, et pour déterminer enfin la position et le diamètre du cercle plan maximum que l'objectif couvre avec la netteté suffisante. C'est cette dernière donnée qui est la plus importante pour différencier plusieurs objectifs analogues.

Focomètre.

Cet appareil est destiné à la mesure de la distance focale des objectifs et à la détermination des positions occupées par les points nodaux.

Il est constitué par deux règles métalliques rigides, placées sur champ, parallèlement l'une au-dessus de l'autre, et réunies à l'une de leurs extrémités par une articulation horizontale qui leur permet de s'écarter angulairement comme les branches d'un compas.

La règle supérieure sert de guide aux deux pièces principales de l'appa-

reil, portées par des coulisseaux. L'une de ces pièces est le support sur lequel s'installent les objectifs à essayer; l'autre est un viseur au moyen duquel s'examinent les images fournies par ces objectifs. Ces deux pièces peuvent l'une et l'autre se déplacer longitudinalement. Une division en millimètres tracée sur la règle et un vernier dont est muni le coulisseau du viseur permettent de relever à moins de $\frac{1}{10}$ de millimètre la position de ce dernier.

L'objectif étant placé dans la monture support, celle-ci doit être amenée à une position telle que la surface extérieure du verre arrière de l'objectif corresponde au zéro de la division de la règle. Ce résultat s'obtient au moyen d'un petit toucheur, semblable à ceux des comparateurs, qui s'applique passagèrement sur la règle en une position convenable, strictement déterminée.

Le viseur comprend une petite bande de glace verticale, dont la face antérieure correspond à l'origine du vernier et porte gravés plusieurs traits horizontaux à des hauteurs différentes; le plus haut est au niveau de l'axe de l'objectif; un microscope, coudé pour la facilité des opérations, sert à viser sur la face divisée de la glace.

L'ensemble de l'appareil peut s'incliner en articulant dans son support, et ce mouvement est susceptible d'une grande précision, grâce à une vis de rappel.

Pour déterminer la distance focale d'un objectif, on commence par braquer l'appareil dans la direction d'un objet placé à une distance assez grande pour pouvoir être considéré comme l'infini, et contenant un détail bien net. En déplaçant le viseur, on amène le plan d'observation à contenir l'image de l'objet et la lecture qu'on peut faire alors au vernier donne, par construction, la distance à laquelle cette image est placée derrière l'objectif : c'est la *longueur focale*.

Par une inclinaison convenable de l'appareil, on établit la coïncidence du trait d'axe avec le détail considéré. Supposons maintenant qu'on écarte angulairement les deux règles métalliques, en soulevant l'arrière de la règle supérieure, de manière que l'image du point observé soit amenée sur un second trait placé au-dessous du premier à une distance connue.

Le rayon issu du point nodal qui aboutit au nouveau trait est un axe secondaire et a conservé la direction qu'avait l'axe principal dans la pre-

mière opération. Il s'est ainsi formé dans l'espace un triangle rectangle ayant pour sommet le point nodal postérieur, pour base la distance des deux traits, et dont le grand côté de l'angle droit, qui coïncide avec l'axe principal de l'objectif, est précisément la *distance focale* à déterminer. Si l'on pouvait construire matériellement ce triangle, on aurait de suite la longueur cherchée. Or, l'appareil donne le moyen de le constituer. Remarquons en effet que, des deux règles, l'une a accompagné l'axe principal, et l'autre, restée parallèle à la direction primitive de cet axe, représente maintenant celle de l'axe secondaire. L'angle des deux règles est donc précisément le même que l'angle des deux axes de l'objectif.

Si l'on insère, en conséquence, dans l'angle des deux règles, une cale égale en hauteur à l'écartement des traits de base et maintenue perpendiculaire à l'une des règles, cette cale fermera, quand elle s'arrêtera, un triangle identique au triangle proposé. C'est cette opération qu'un dispositif particulier de l'appareil permet d'exécuter aisément. Une division en millimètres que porte la règle inférieure et sur laquelle on peut faire, grâce à un vernier, des lectures à $\frac{1}{10}$ de millimètre, donne directement la longueur cherchée, c'est-à-dire la *distance focale*.

Par différence entre la *distance focale* et la *longueur focale*, on déduit la position du *point nodal postérieur* de l'objectif à la face arrière.

En retournant l'objectif et opérant de même, on contrôle la distance focale et on fixe le *point nodal antérieur*.

APPAREILS DIVERS

Pendule entretenu électriquement. — *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, juin 1887.

Le mode d'entretien dont il est ici question consiste à déplacer périodiquement d'une petite quantité le point de suspension du pendule, horizontalement et dans le plan des oscillations.

A cet effet, la tige du pendule est suspendue, par l'intermédiaire d'une feuille d'acier très mince et très souple, formant articulation, à l'armature mobile d'une sorte de relais polarisé faisant partie du bâti même de l'appareil.

L'inversion du courant dans le relais polarisé, nécessaire au déplacement de l'armature, est automatiquement produit par le pendule lui-même au moyen d'un petit aimant permanent attaché sur sa tige, entraîné dans ses excursions et agissant à distance sur un commutateur extérieur dont la réaction presque nulle sur le pendule est incapable d'influencer sa marche.

Frein dynamométrique. — *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, décembre 1879. — Société d'encouragement, médaille de platine, 1882.

De tous les appareils destinés à mesurer le travail des machines motrices, le frein de Prony est certainement le plus simple; mais, en raison des variations incessantes du coefficient de frottement, qu'il faut compenser par la pression des mâchoires, l'emploi de cet appareil impose une surveillance continuelle à l'opérateur, pour maintenir la stabilité de son équilibre.

Le frein dont il est ici question ne présente pas le même inconvénient : il se règle automatiquement. Il est basé sur les phénomènes de frottement des cordes sur les cylindres.

Une poulie à gorge est calée sur l'arbre du moteur dont on veut mesurer la puissance; dans la gorge de cette poulie est placée une corde embrassant une partie de la circonférence et dont l'un des brins, tombant verticalement du côté de la poulie qui descend, dans la rotation, est chargé d'un poids. Les actions du frottement s'ajoutent à la traction de ce poids pour entraîner la corde dans le sens du mouvement du moteur, mais le deuxième brin est fixé à un bras appartenant à une poulie folle montée sur l'arbre, à côté de la première. Cette poulie folle est elle-même sollicitée en sens inverse du mouvement par une corde enroulée à sa circonférence et chargée, elle aussi, d'un poids, plus lourd que le premier; son bras invite la corde frottante à monter sur la poulie de friction. Les actions du frottement augmentant avec l'arc embrassé et diminuant avec lui, le système se placera de lui-même dans la position où ces actions compensent exactement la différence des deux poids qui agissent en sens contraire. La différence connue de ces poids sert de mesure même à la résultante des actions de frottement, et la puissance du moteur a pour expression le produit de cette différence par le chemin que parcourt un point de la poulie de friction dans une seconde.

Ce frein dynamométrique, qui a reçu le nom de *frein funiculaire*, est à peu près seul applicable au cas de moteurs de très petite puissance pour lesquels le réglage du frein de Prony à la main serait absolument impossible.

30641 — Imprimerie Lahure, 9, rue de Fleurus à Paris